

552, 522

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局(43) 国際公開日
2004年10月21日 (21.10.2004)

PCT

(10) 国際公開番号
WO 2004/090571 A1

- (51) 国際特許分類⁷: G01T 1/20
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2004/004590
- (22) 国際出願日: 2004年3月31日 (31.03.2004)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願2003-106277 2003年4月10日 (10.04.2003) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 独立行政法人 科学技術振興機構 (JAPAN SCIENCE AND TECHNOLOGY AGENCY) [JP/JP]; 〒3320012 埼玉県川口市本町4-1-8 Saitama (JP).
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 澁谷 憲悟

(SHIBUYA, Kengo) [JP/JP]; 〒1830045 東京都府中市美好町3-40-8 Tokyo (JP). 村上 英利 (MURAKAMI, Hidetoshi) [JP/JP]; 〒2710044 千葉県松戸市西馬橋2-40-21-105 Chiba (JP). 斎藤 晴雄 (SAITO, Haruo) [JP/JP]; 〒1400002 東京都品川区東品川2-5-6-905 Tokyo (JP). 浅井 圭介 (ASAI, Keisuke) [JP/JP]; 〒9800861 宮城県仙台市青葉区川内元支倉35-10-107 Miyagi (JP).

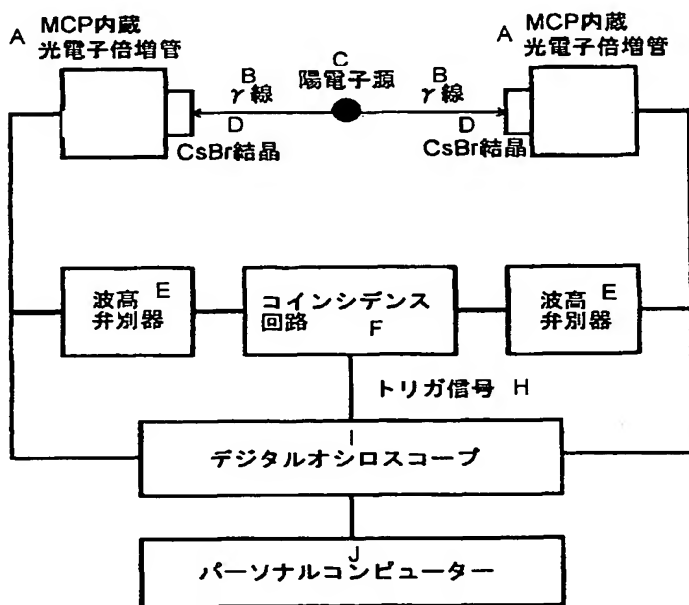
(74) 代理人: 下田 昭 (SHIMODA, Akira); 〒1040031 東京都中央区京橋3-3-4 京橋日英ビル4階 Tokyo (JP).

(81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA,

[続葉有]

(54) Title: RADIATION DETECTOR

(54) 発明の名称: 放射線検出装置



(57) Abstract: A gamma ray detector very quick in time resolution. CsBr (cesium bromide) is used as a scintillator crystal and an MCP-built-in type photoelectronic multiplier is used, whereby time resolution far larger than a conventional one is obtained in gamma ray detecting.

(57) 要約: 時間分解能の極めて早いガンマ線検出装置を提供する。シンチレーター結晶としてCsBr (臭化セシウム) を用い、光電子増倍管としてMCP内蔵タイプを用いることにより、ガンマ線検出において従来の値を大きく上回る時間分解能を得られる。

- A...MCP-BUILT-IN PHOTOELECTRONIC MULTIPLIER
B...GAMMA RAY
C...POSITRON SOURCE
D... CsBr CRYSTAL
E...PULSE HEIGHT DISCRIMINATOR
F...COINCIDENCE CIRCUIT
H...TRIGGER SIGNAL
I...DIGITAL OSCILLOSCOPE
J...PERSONAL COMPUTER

WO 2004/090571 A1



NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC,

添付公開書類:

— 国際調査報告書

2文字コード及び他の略語については、定期発行される各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

明 細 書

放射線検出装置

5 技術分野

この発明は、放射線、特にガンマ線の検出装置に関し、更に詳細には時間分解能の極めて早いガンマ線検出装置に関する。

従来技術

- 10 放射線検出器は、固体の輻射緩和現象を利用して、電離放射線を光学的に検出・測定するものである。近年、物理、化学、生物及び医療などの分野において、短パルス放射線の利用が進められており、短パルス放射線を簡易に測定する方法が求められている。例えば、医療機器であるPET（ポジトロン・エミッション・
- 15 トモグラフィー）では、放射線検出器の時間分解性能を測定系の位置検出に利用することが可能であり、その場合時間分解能が高ければ高いほど、より短時間でより精密な診断を行うことが出来る。従って、高時間分解能放射線検出器に対する要請は極めて大きい。

従来の放射線検出器のうち、特にガンマ線検出器の時間分解能は満足がゆくものではなかった。

- 20 例えば、今までのところ最も良い時間分解能として、プラスチックシンチレーターとダイノード増幅型光電子増倍管を用いてアナログ回路で時間処理する方法で測定したものは124 ps (M. Moszynski, 1993年 Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 337 (1993) 154)、BaF₂シンチレーターとダイノード増幅型光電子増倍管とデジタルオシロスコープを用いる
- 25 方法で測定したものは155 ps (Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 487 (2002) 612-617)、プラスチックシンチレーターとダイノード増幅型光電子増倍管とデジタルオシロスコープを用いる方法で測定したものは120 ps (Radiation Physics and Chemistry 68 (2003) 431-434)を示していた。

一方、CsBr（臭化セシウム）結晶からの高速発光は、1990年ごろから光物性の研究者の間では知られており（J PHYS SOC JPN 62: (8) 2904-2914 AUG 1993）、その発光量、発光の減衰時間、その温度依存性が測定されている（J PHYS SOC JPN 66: (8) 2502-2512 AUG 1997）。表1に示すように、室温において、発光量がBaF₂の高速成分の1%（NaI（TI）の0.04%）、減衰時間が30ピコ秒であった。室温での発光量が非常に少ないが、減衰時間が非常に高速なことが知られていた。

表1

	発光量(NaI(TI)比)	減衰時間
CsBr(室温)	0.04%	30ps
BaF2	4%	800ps

しかしCsBr結晶をガンマ線計測に応用する発想はなかった。

また、高速性に特徴のあるMCP内蔵光電子増倍管は、1980年ごろから市販されている。MCP内蔵光電子増倍管と通常の光電子増倍管との比較を表2に示す。MCP内蔵光電子増倍管は、波形の立ち上がり時間(rise time)と走行時間のばらつき(T.T.S., Transit time spread)が小さい点に特徴がある。

表2

	立ち上がり時間	半値幅
MCP内蔵光電子増倍管 (浜松ホトニクスR3809U)	150ps	25ps
普通の光電子増倍管で最も高速なもの (浜松ホトニクスH3378)	700ps	370ps

普通の光電子増倍管と普通のガンマ線高速測定用シンチレータ（BaF₂又はプラスチックシンチレータ）を用いたときの時間分解能は、光電面における光電子数の統計的ばらつきで決定され、立ち上がり時間や走行時間のばらつきはあまり効かない。しかし、MCP内蔵光電子増倍管と普通のガンマ線高速測定用シンチレータを用いて、ガンマ線の時間測定を行うと、使用できる光電子の数が少ないため、統計的ばらつきが大きく、普通の光電子増倍管より悪い時間分解

能しか得られないため、ガンマ線の時間計測には使用されていなかった。

発明が解決しようとする課題

従来のガンマ線検出器は、時間分解能が不十分であった。そのため、以下の応用の際の制約となっていた。

(1) 医療における PET (Positron Emission Tomography, 陽電子断層撮影)

時間分解能が向上すれば、時間情報から、陽電子の位置を検出可能になり、測定時間の短縮、線源強度の低減など、被験者の負担低減につながる。

10 (2) 陽電子寿命測定法

材料科学において、陽電子の寿命測定は格子欠陥の検出に利用されている。時間分解能が向上すれば検出感度が向上する。

本発明は、このような制約を解消するため、ガンマ線検出の時間分解能を向上させることを目的とする。

15

課題を解決するための手段

本発明者らは、ガンマ線を光に変換するシンチレーター結晶として CsBr (臭化セシウム) を用い、光を電気信号に変換する光電子増倍管として MCP 内蔵タイプを用いることにより、ガンマ線検出において従来の値を大きく上回る時間分解能を得られることを見出し、本発明を完成させた。

20 即ち、本発明は、シンチレータとして CsBr 結晶を用い、シンチレータからの受光に光電子増倍管を用いた放射線検出装置であって、該光電子増倍管が、300～500nm の光を検出し、シングルフォトンが検出可能な感度と、シングルフォトンに対して 30ps 以下の半値幅と、10mm² 以上の受光面積とを有する

25 ことを特徴とする放射線検出装置である。このシンチレータの減衰時間は 50ps 以下である。

図面の簡単な説明

第1図は、本発明に用いることのできる MCP 内蔵光電子増倍管とそのスペッ

クを示す（浜松ホトニクス株式会社のパンフレット）。R5916 シリーズは+15V ゲートシグナルの入力によりゲート制御する。標準タイプは通常 OFF ですが、ON タイプもあります。ゲート作動は、ゲートシグナルの入力パルスにもよりますが、5ns です。

- 5 第2図は、MCP内蔵光電子増倍管（浜松ホトニクス R3809U）の構造を示す（浜松ホトニクス株式会社のパンフレットから）。

第3図は、実施例で用いた測定装置の配置を示す。

第4図は、測定結果を示す。横軸はチャンネル数（時間）を表し、縦軸はカウント数を表す。Position Aは移動前、Position Bは移動後の測定値を示す。

10

発明の実施の形態

本発明の放射線検出装置は、シンチレータとしてCsBr結晶を用い、シンチレータからの受光に光電子増倍管を用いる。

- 15 本発明で用いるCsBr結晶は、そのように分類される如何なる結晶を用いてもよいが、CsBrを含むアルカリハライド結晶は、1960年代から高純度のものが光学用に商業的に提供されており、本発明においてはこのようなものを用いることができる。

その成分はCs（セシウム）とBr（臭素）の原子比が1：1であり、結晶構造がCsCl型ものが好ましく用いられる。

- 20 CsBr結晶は放射線、特にガンマ線を照射すると300～500nmの光を放射するため、この放射光を受光するために光電子増倍管を用いる。

- 光電子増倍管は、光を電子に変換するための光電面と、その電子を増幅する増幅部から構成される。一方、MCP（マイクロチャンネルプレート）は、ガラスに微細な穴（チャンネル）が空いている素子であり、この両面に電圧（数kV）をかけると、負電位の側から入射した電子がチャンネルの壁にぶつかりながら2次電子を出して増幅される。MCP内蔵光電子増倍管は、このような素子を内蔵することにより、シングルフォトンの検出を可能とし、応答時間を高速にした光電子増倍管である。このようなMCP内蔵光電子増倍管は市販されており、例えば、浜松ホトニクス株式会社からR3809UシリーズやR5916Uシリーズとして入手可

30

4/1

能である。これらのスペックを第1図に示す。

本発明の放射線検出装置は、上記のCsBr結晶と光電子増倍管以外に、これら部品を結合して、放射線を検出するために適宜必要なスペックを有する装置を

組合わせて用いてもよい。例えば、CsBr結晶とMCP内蔵光電子増倍管にデジタルオシロスコープを組み合わせた、このデジタルオシロスコープを外部トリガ回路で動作させるよう構成してもよい。更に、検出された波形の処理のために適宜公知の装置を用いることができる。

- 5 この放射線検出装置の測定対象は、陽電子消滅ガンマ線が好ましく、線源はPETに使用されるものとして、C-11、N-13、O-15、F-18、陽電子寿命測定に使用されるものとしてNa-22、Ge-68などが挙げられる。

以下、実施例により本発明を例証するが、これらは本発明を制限することを意図したものではない。

実施例1

測定装置

まず、シンチレータとして、CsBr結晶(Korth Kristalle GmbH社)を用いた。その成分はCsとBrが1:1(原子比)であり、結晶構造はCsCl型である。サイズは8mmφ×8mmであり、全面研磨品である。

光電子増倍管として、MCP内蔵光電子増倍管(浜松ホトニクス R3809U)を用いた。その立ち上がり時間は150ps、走行時間のばらつきは25psである。その構造を第2図に示す。第2図において、CATHODEが光電面で、ここで光が電子に変換され、その電子がMCPに入射し、増幅され、ANODEから出力される。

このCsBr結晶にシリコングリスを全面に塗布したのち、光電子増倍管への貼り付け面以外を遮光テープで覆ってから、直接光電子増倍管の受光面に貼り付け、放射線検出装置とした。

25 線源として、 ^{22}Na (入手先:日本アイソトープ協会、製造元:PerkinElmer lifescience社)を用いた。強度は1MBqであった。 ^{22}Na からは、1.27MeVのガンマ線と陽電子が同時に放出され、陽電子はすぐに2本の0.511MeVのガンマ線になる。今回のセットアップでは1.27MeVのガンマ線の効果は無視できる。この線源のサイズは約2mmである。

これら各装置を、第3図に示すように配置した。放射線検出装置を2つ用意し、そのCsBr結晶が対向するように配置し、光電子増倍管、CsBr結晶及び線源を同一軸上に並べた。2つの放射線検出装置のCsBr結晶の面間距離を50mmとした。

- 5 これらに、デジタルオシロスコープ (LeCroy 社製 WaveMaster9600、アナログ帯域 6GHz、サンプリング周波数 20GS/s (2ch 同時))、波高弁別器 (EG & G ORTEC社製 モデル 584)、コインシデンス回路 (林栄精器製 RPN-130) を第3図に示すように配置し、2つの光電子増倍管が受光した時間の差を測定した。このように装置を配置した結果、時間分解能は80ps以下、距離分解能は
- 10 12mm程度であった。

測定操作

- まず、線源 (サイズ: 約2mm) を一方の放射線検出装置のCsBr結晶から20mmの位置に置いて、線源からの放射線を測定した。各点間の時間が5ps
- 15 であるので、縦軸 (カウント) が頂点から半分の位置の幅は、16点以下であった。即ち、2本の陽電子消滅ガンマ線 (0.511MeV, 同時に出る) の時間差測定の時間分解能 (半値幅) として80ps以下の値が得られた。

次に、線源を他方の放射線検出装置のCsBr結晶の方向へ10mm移動させて、同様に測定した。

20

測定結果

測定結果を第4図に示す。10mmの移動により、右検出器に10mm近づき、左検出器から10mm離れる。第4図からこの移動前後で、ピークが13.3チャンネル (即ち、66.6ps) 移動していることが分かる。

- 25 光速が3cm/100psなので、66psだけピーク位置が移動することが予想される。この予想は上記の測定結果とよく一致した。

即ち、陽電子消滅ガンマ線 (0.511MeV) 及びそれとエネルギーが近いガンマ線の時間測定において、従来になかった高い時間分解能を実現する装置が実現した。

また第4図の PositionA (又は PositionB) における時間分解能は、およそ 15ch (75ps) の半値幅であることが、図から読み取れる。この値は、用いたシンチレーターの減衰時間、および、用いた光電子増倍管の分解能半値幅、光路差、その他の時間分解能を悪化させる影響の効果を、足し合わせた値である。

- 5 これから、用いた CsBr シンチレーターの減衰時間を以下のように求めることができる。

用いたシンチレーターの減衰時間 (半減期) を τ_s 、測定器の分解能を τ_p とおき、光路差、その他の時間ジッタに与える効果を τ_k とする。全体の分解能は、 τ_s, τ_p, τ_k の二乗の和の平方根であるので、下式が成り立つ。

10 時間分解能 $= \sqrt{2\tau_s^2 + 2\tau_p^2 + 2\tau_k^2}$

左辺は、図4より 75ps、 τ_p はカタログ値より 25ps であり、 τ_k は結晶のサイズから 20ps と見積もられるため、 $\tau_s=43ps$ となる。これは、CsBr の文献値 (30ps、表1) とほぼ一致することがわかる。

- 15 これより、本発明においては、減衰時間の極めて短いシンチレーターを使用することにより高い時間分解能を得ることが出来たことが明らかである。

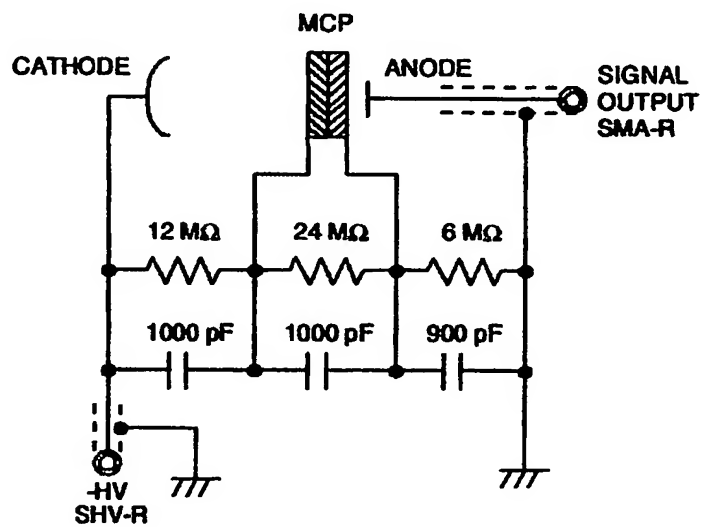
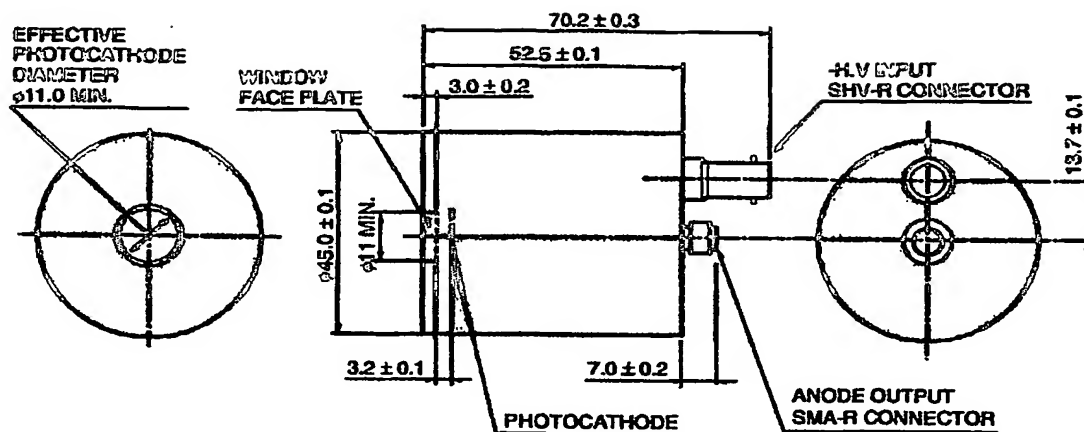
請求の範囲

1. シンチレータとしてC s B r 結晶を用い、シンチレータからの受光に光電子増倍管を用いた放射線検出装置であって、該光電子増倍管が、300～500
5 nmの光を検出し、シングルフォトンが検出可能な感度と、シングルフォトンに対して30 p s 以下の半値幅と、10 mm²以上の受光面積とを有することを特徴とする放射線検出装置。
2. ガンマ線検出のための請求項1に記載の放射線検出装置。
3. 前記C s B r 結晶が、C s C l 型の結晶構造を有し、そのC s とB r の原子比が1：1である請求項1又は2に記載の放射線検出装置。
10
4. シンチレータの減衰時間が50 p s 以下である請求項1～3のいずれか一項に記載の放射線検出装置。
5. 前記光電子増倍管が、MC P 内蔵光電子増倍管である請求項1～4のいずれか一項に記載の放射線検出装置。

第 1 図

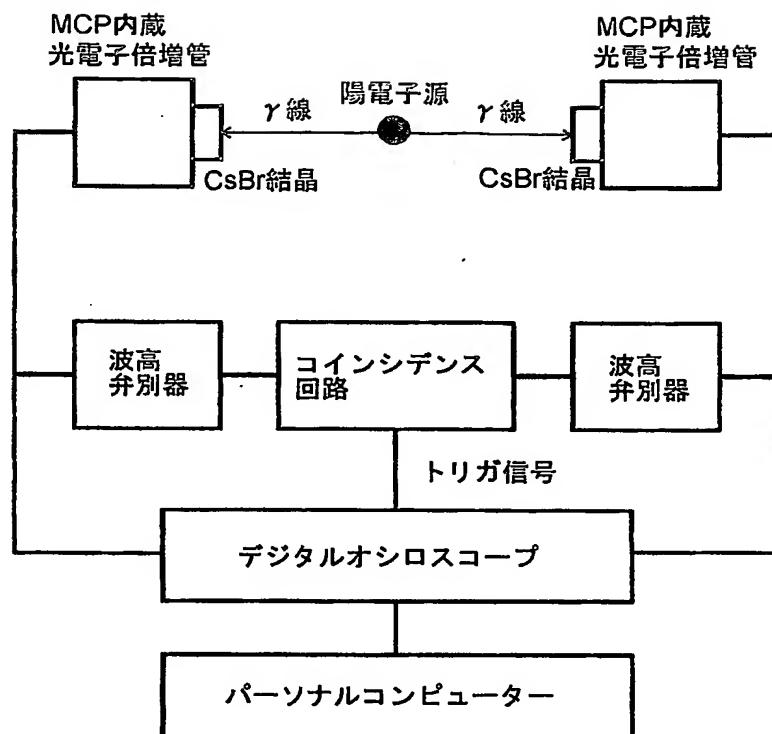
Type No.	Spectral Response				Remarks			Max. Ratings		
	Effective Area (mm) Wavelength (nm) →	Curve Code	Peak Wavelength (nm)	Photo-cathode Material	Win- dow line No.	No. of MCP Stage	-HV Input Terminal	Signal Output Terminal	Anode to Cathode Voltage (V)	Anode Current Contin- uous (nA) Pulsed Peak (nA)
Standard Types										
R3809U-50	φ11	500S	430	MA	Q	2	SHV-R	SMA-R	-3400	100 350
R3809U-51	φ11	501S	600	EMA	Q	2	SHV-R	SMA-R	-3400	100 350
R3809U-52	φ11	403K	400	BA	Q	2	SHV-R	SMA-R	-3400	100 350
R3809U-57	φ11	201M	230	Cs-Te	MF	2	SHV-R	SMA-R	-3400	100 350
R3809U-58	φ11	500M	430	MA	MF	2	SHV-R	SMA-R	-3400	100 350
R3809U-59	φ11	700M	800	Ag-O-Cs	K	2	SHV-R	SMA-R	-3400	100 350
Gated Types										
R5916U-50	φ10	500S	430	MA	Q	2	SHV-R	SMA-R	-3400	100 350
R5916U-51	φ10	501S	600	EMA	Q	2	SHV-R	SMA-R	-3400	100 350
R5916U-52	φ10	403K	400	BA	Q	2	SHV-R	SMA-R	-3400	100 350

第 2 図

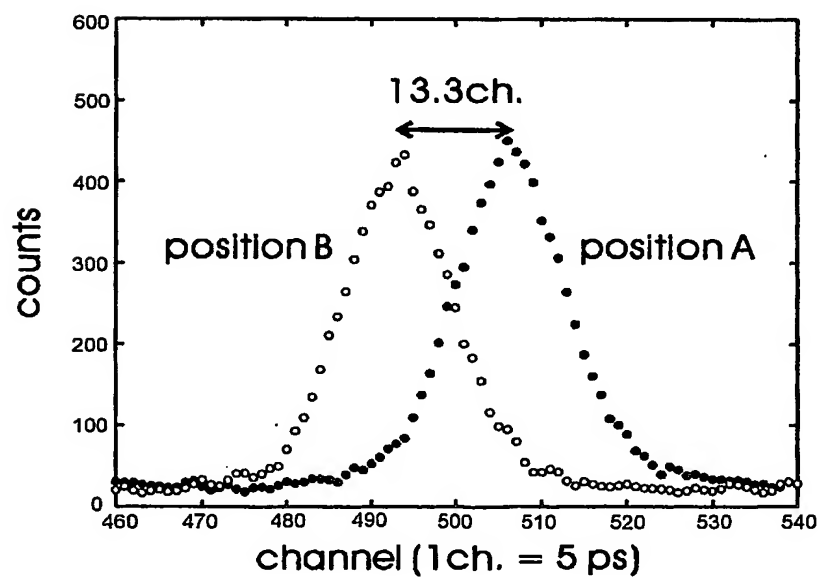


3/3

第 3 図



第 4 図



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2004/004590

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
Int.Cl⁷ G01T1/20

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
Int.Cl⁷ G01T1/00-7/12Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched
Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2004
Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2004 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2004

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2000-249768 A (Hamamatsu Photonics Kabushiki Kaisha), 14 September, 2000 (14.09.00), Full text; Figs. 1 to 14 (Family: none)	1-5
Y	HAMAMATSU PHOTONICS KABUSHIKI KAISHA, MICROCHANNEL PLATE PHOTOMULTIPLIER TUBE (MCP-PMTs) R3809U-50 SERIES, 2002	1-5
Y	HAMAMATSU PHOTONICS KABUSHIKI KAISHA, GATEABLE MICROCHANNEL PLATE PHOTOMULTIPLIER TUBE (MCP-PMTs) R5916U-50 SERIES, 1998	1-5

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

- "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
- "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
- "&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
29 June, 2004 (29.06.04)Date of mailing of the international search report
13 July, 2004 (13.07.04)Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl⁷ G01T1/20

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl⁷ G01T1/00-7/12

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2004年
日本国登録実用新案公報	1994-2004年
日本国実用新案登録公報	1996-2004年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
Y	JP 2000-249768 A (浜松ホトニクス株式会社) 2000. 9. 14, 全文, 第1-14図 (ファミリーなし)	1-5
Y	HAMAMATSU PHOTONICS K.K., MICROCHANNEL PLATE PHOTOMULTIPLIER TUBE (MCP-PMTs) R3809U-50 SERIES, 2002	1-5
Y	HAMAMATSU PHOTONICS K.K., GATEABLE MICROCHANNEL PLATE PHOTOM- ULTIPLIER TUBE (MCP-PMTs) R5916U-50 SERIES, 1998	1-5

☐ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)
「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

29. 6. 2004

国際調査報告の発送日

13. 7. 2004

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/JP)

郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

大熊 靖夫

2M

3104

電話番号 03-3581-1101 内線 3226